



FOTONINDUCERADE KÄRNREAKTIONER VID HÖGA ENERGIER

Gert Andersson

Lund 1974

FOTONINDUCERADE KÄRNREAKTIONER VID HÖGA ENERGIER

av

Gert Andersson, Hb

Föreliggande avhandling omfattar följande arbeten:

- I. CALCULATIONS OF MESONIC CONTRIBUTIONS TO
(γ, n) REACTIONS
(tillsammans med B Friberg och B Forkman)
Nuclear Physics A171 (1971) 529
- II. PHOTOMESON EFFECTS IN (γ, n) AND (γ, p)
REACTIONS IN LIGHT NUCLEI
(tillsammans med B Friberg och B Forkman)
Nuclear Physics A171 (1971) 551
- III. THE $^{16}\text{O}(\gamma, n)^{15}\text{O}^*$ AND $^{16}\text{O}(\gamma, p)^{15}\text{N}^*$
REACTIONS AT INTERMEDIATE ENERGIES
(tillsammans med J-O Adler, B Forkman,
G G Jonsson och K Lindgren)
Nuclear Physics A171 (1971) 560
- IV. ALPHA PARTICLES FROM ^{197}Au IRRADIATED BY
500 MeV BREMSSTRAHLUNG
(tillsammans med J-O Adler och H Å Gustafsson)
accepterat för publicering i Nuclear Physics

De experiment som beskrivs i ovanstående uppsatser har
alla utförts inom ramen för kärnfotogruppens i Lund

forskningsverksamhet vid Fysiska institutionens elektron-synkrotron. Arbetena skildrar några av de olika typer av reaktioner, som kan uppkomma då högenergetisk elektromagnetisk strålning, gammastrålning, växelverkar med atomkärnan. Den använda acceleratoren ger gammastrålning med kontinuerlig energifördelning, så kallad bromsstrålning, genom att strålen av accelererade elektroner bringas att kollidera med en tunn platinastav i synkrotronens accelerationsrör. Bromsstrålningens toppenergi kan varieras från 75 MeV till ca 1200 MeV. Vid dessa höga energier kan gammastrålningen beskrivas som en ström av "vågpaket" eller fotoner, vilka har partikelliknande egenskaper.

Då högenergetiska fotoner tränger in i en atomkärna, kan de på olika sätt växelverka med denna. Sannolikheten eller träffytan för växelverkan är emellertid mycket liten. Vid passage genom materia absorberas fotonerna framför allt i atomernas elektronhölje. Eftersom atomkärnans diameter är ca 10 000 gånger mindre än elektronhöljets, träffar endast ett litet antal fotoner kärnan. Av dessa passerar i sin tur de flesta rakt igenom kärnan utan att reagera. Vid en energi på 450 MeV ger t ex 200 foton-träffar i en kolkärna i medeltal upphov till endast en växelverkan av något slag.

I en fotoninducerad kärnreaktion kan en del av nukleonerna i atomkärnan, protoner eller neutroner, slungas ut. Vid höga energier kan dessutom nya partiklar skapas. Ett direkt sätt att indikera att en reaktion ägt rum är då att på något sätt detektera de i reaktionen utsända partiklarna. Denna metod har använts i arbetena III och IV. Ofta är den restkärna som kvarstår efter reaktionen instabil, beroende på att förhållandet antal protoner / antal neutroner förskjutits från de speciella värden, som karakteriserar de stabila kärnorna. Den instabila kärnans radioaktiva sönderfall, vilket alltså äger rum efter själva reaktionen, kan i många fall detekteras. Sönderfallets karakteristika bestämmer entydigt den instabila kärnans



typ, och därmed är också den fotoninducerade reaktionen definierad. Denna indirekta metod har utnyttjats i arbete I.

I denna avhandling behandlas reaktioner, vilka initierats av fotoner med en energi större än 150 MeV. Den använda bromsstrålningens kontinuerliga energifördelning medför emellertid att man vid mätningarna erhåller bidrag från lågenergetiska fotoner. Dessa fotoner har så låg energi att deras våglängd är jämförbar med atomkärnans storlek. I energiområdet 10-40 MeV, det så kallade jätteresonansområdet, växelverkar därför fotonen med hela kärnan. Denna process är relativt välkänd, och den kan tolkas som en kollektiv dipolvibration, där protongruppen i kärnan vibrerar i förhållande till neutrongruppen. Då fotonenergin ökar, minskar dess våglängd, och i energiområdet 40-150 MeV antas fotonen kunna påverka grupper av nukleoner i kärnan. Detta område benämnes kvasi-deuteronområdet, ty huvudprocessen antas vara växelverkan med ett proton-neutron par.

I energiområdet över 150 MeV, fotomesonområdet, är fotonens våglängd så liten att den kan angripa de enskilda nukleonerna. Nukleonen kan då exciteras, dvs den absorberar fotonens energi. Överskottsenergin frigörs nästan omedelbart i ett sönderfall, i vilket en eller flera nya partiklar, pioner, bildas, samtidigt som den åter normala nukleonen får en viss rekylenergi.

Den primära växelverkan åstadkommer alltså att en nukleon och en eller flera pioner försöker lämna kärnan. Detta kan i sin tur ge upphov till sekundära processer, genom att de utgående partiklarna kolliderar med de övriga nukleonerna i kärnan. På så sätt kan en skur av partiklar lämna kärnan nästan omedelbart efter initialprocessen. Efter denna så kallade kaskad, som varar endast i ca 10^{-22} sekunder, kan restkärnan vara exciterad. Excitationsenergi uppkommer dels genom omstruktureringen av kärnan och dels genom att vissa kaskadpartiklar helt

eller delvis bromsas upp och förlorar rörelseenergi. Om excitationsenergien är tillräckligt stor, kan ytterligare en eller flera nukleoner eller nukleongrupper emitteras. Denna så kallade förångning är en relativt långsam, statistisk process, vilken startar 10^{-20} - 10^{-16} sekunder efter kaskaden.

I arbete II beskrivs en reaktion i lätta kärnor, vilken ger en god bild av den primära processen. Här har uppmätts sannolikheten för produktion av restkärnor med exakt en neutron (i vissa fall proton) mindre än i den ursprungliga kärnan. Den experimentella metoden är den indirekta, där man mäter på restkärnornas radioaktiva sönderfall. Detta har utförts med hjälp av två NaI(Tl)-kristaller, och de olika restkärnorna har kunnat särskiljas genom en analys av halveringstiderna för sönderfallen.

De erhållna resultaten jämförs med en matematisk modell för reaktionen, vilken presenteras i arbete I. I modellen antas reaktionen ske via en enkel eller dubbel pionproduktion mot en enstaka nukleon i kärnan. Modellen är huvudsakligen baserad på impulsapproximationen, vilket helt enkelt innebär att den träffade nukleonen i själva växelverkansögonblicket betraktas som en fri nukleon. Detta medför, att sannolikheten för primärprocessen kan beräknas ur kända experimentella data för pionproduktion mot fria protoner (vätekärnor).

Om nu de studerade restkärnorna skall produceras, måste både rekylnukleonen och pionerna gå ut ur kärnan utan att överföra så mycket energi att ytterligare partiklar skulle kunna emitteras. Denna möjlighet kan beräknas ur data för partikelinducerade kärnreaktioner. Ett ytterligare krav i modellen är, att omstruktureringen i kärnan efter kaskadsteget inte ger tillräcklig energi för partikelförångning. Detta krav kan i en första approximation antas

vara uppfyllt, om den träffade nukleonen ligger i någon av de högsta energinivåerna i kärnan. Endast en del av nukleonerna kan alltså sägas vara tillgängliga för denna speciella reaktion. Antalet tillgängliga nukleoner kan erhållas ur skalmodellen, vilket i det flesta fallen ger god överensstämmelse med de i arbete II redovisade resultaten. Den matematiska modellen beskriver alltså väl dessa enkla fotoninducerade reaktioner.

I arbete III redovisas studier av två liknande reaktioner i ^{16}O . De erhållna restkärnorna är ^{15}O och ^{15}N , men undersökningen har ytterligare specificerats genom kravet att kärnorna skall produceras exciterade till respektive lägst liggande $3/2^-$ tillstånd. Dessa nivåer, med mycket korta livslängder, deexciteras genom en karakteristisk gammaemission, vilken detekterats i en $\text{Ge}(\text{Li})$ -detektor. Den experimentella träffytan har alltså här uppmätts med en direkt metod. Det visar sig att utbytena av de studerade nivåerna är väsentligt mindre, än vad man skulle förvänta sig enligt den ovan beskrivna modellen. Detta kan indikera, att små energimängder överföres till restkärnan vid själva pionproduktionen.

I det sista arbetet diskuteras en komplex fotoninducerad reaktion i en tung kärna. Med hjälp av ytbarriärdetektorer har emission av alfapartiklar (^4He -kärnor) från ^{197}Au detekterats. Bestrålningen har skett med bromsstrålning med maximienergin 500 MeV. Halvledardetektorer i kombination med elektronisk partikelidentifierare möjliggör att alfapartiklarna kan skiljas från alla andra emitterade partikeltyper eller nukleongrupper. Alfapartiklarnas vinkel- och energifördelning utgör det primära experimentella resultatet.

Normalt borde alfapartiklar endast kunna emitteras i förångningssteget av en komplex reaktion. Kaskadsteget har då lämnat restkärnan så högt exciterad över grundtillståndet, att alfapartikeln emitteras trots den höga

tröskelenergin för emission av positivt laddade partiklar från tunga kärnor. Emellertid indikerar framför allt den uppmätta vinkelfördelningen att enbart en förångningsprocess inte kan förklara alfaemissionen i framåtriktningen. I arbetet antyds att förekomsten av alfastrukturer i kärnans ytskikt skulle kunna öka utbytet. Vi hoppas att i ett kommande arbete kunna visa att en direkt emission av sådana strukturer i själva kaskadsteget ger bättre överensstämmelse med våra experimentella resultat.

Denna avhandling har utarbetats inom ramen för kärnfotogruppens vetenskapliga program. Samtliga medlemmar i denna grupp kan i större eller mindre omfattning sägas ha bidragit till detta verk. Till gruppens ledare professor Bengt Forkman, som också varit min handledare, vill jag rikta ett speciellt tack. Hans vetenskapliga klarsyn har hela tiden utgjort basen för gruppens arbete. Mina övriga medförfattare har stor del i arbetenas tillkomst. Särskilt vill jag tacka Bengt Friberg och Jan-Olof Adler för ett stimulerande samarbete. Endast tack vare Hans-Åke Gustafssons självupppoffrande arbete har α -experimentet kunnat genomföras. Slutligen vill jag tacka alla andra institutionsmedlemmar vilka på olika sätt hjälpt mig i mitt arbete.

SUMMARY

In this thesis some nuclear reactions induced by high-energy photons are discussed. Due to the short wavelength of a photon of high energy the primary interaction is supposed to be an interaction with a single nucleon in the nucleus. Above the pion threshold one or two pions may be produced together with a recoiling nucleon. If all these particles escape from the nucleus without further interactions a (γ, n) or (γ, p) reaction may be the result. In papers I and II such reactions in light nuclei are discussed. The experimental result is compared to an analytical calculation based upon the impulse approximation. In paper III the same type of reactions have been studied, but restricted to the case when the daughter nucleus is left in its first excited $3/2^-$ state.

When the particles from the primary process start to interact with the nucleons in the nucleus a more complex reaction, a fast cascade followed by an evaporation, may develop. Such a reaction is discussed in paper IV. Energy and angular distributions for alphaparticles emitted from ^{197}Au irradiated by 500 MeV bremsstrahlung have been measured. The results are compared to cascade-evaporation calculations and it is shown that there is a significant discrepancy for small angles. It is indicated that this effect may be explained if alphaparticles are assumed to be directly emitted in the cascade.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552415_0030

